Editorial
On line



Un segle i mig de geomorfologia litoral

Vicenç Mª. Rosselló i Verger
Universitat de València

De la mar procelosa i temuda, dels "perills de la mar" dels nostres avantpassats, a la costa marina familiar i cobejada, a la muralla de paper de projectes, revistes, congressos i comissions del final del segle XX i principi del XXI, hi ha un abisme científic i metodològic, fins i tot literari i mediàtic.

Els albors de la ciència futura

El primer mapa d'isòbates es remunta a 1729 (Cruquius) i els nostres litoral conegueren la primera cartografia hidrogràfica seriosa el 1787 amb les cartes i el *Derrotero* de V. Tofiño, superats de molt en qualitat per les campanyes de final de segle XIX (R. Pardo i J. Gómez Ímaz): eren la base d'uns estudis que ni tan sols s'albiraven. La tendència hidràulica (prefigurada, segles abans, a l'obra de Leonardo da Vinci), en la primera meitat del segle XIX saludava la mecànica dels fluids aplicada a l'onatge per G.B. Airy i G.G. Stokes, seguits més tard per P. Cornaglia (1881) i V. Cornish (1898, 1912) que posaven els fonaments teòrics del principal factor dels processos litorals. El gran motor dels canvis era la transferència d'energia des de l'atmosfera a la hidrosfera, tot afectant la litosfera i, de biaix, la biosfera. Les interaccions entre les quatre esferes justifiquen l'apassionant interès geogràfic del litoral.

El vessant geològic (més tard es diria geomorfològic) que provenia de la revolució científica de Newton (1687) i l'alliberament de les ciències de la Terra dels esquemes bíblics, permeté als pioners com Hutton i Playfair elaborar una doctrina autònoma. Els seus

grans seguidors C. Lyell (1830) i L. Élie de Beaumont (1845), que visità les notres terres, dedicaren prou atenció al modelat i l'evolució litorals. De llavors ençà, molts geòlegs es fixaren en les planes de denudació (o sedimentació) marina (els "neptunistes") i es preocuparen pels dipòsits costaners transgressius i regressius. L'assaig d'aplicar el "cicle d'erosió" al litoral, tot i el seu biaix distorsionador, encarrilà estudis concrets vers els processos. G.K. Gilbert (1885), investigant les vores "fòssils" del llac Bonneville, i F.P. Gulliver foren precursors en aquesta tendència. La primera classificació de costes fou obra de F. Richthofen (1886), el descobridor de les *rias*. En aquesta segona meitat del Vuit-cents comencen a sortir la majoria d'articles clàssics sobre morfologia de costes i descripcions regionals, com també les principals recopilacions d'A. Penck (1896) (que recollí el concepte *cala* de l'arxiduc Lluís-Salvador), L. Passarge (1912), fins arribar a D.W. Johnson. *The Coral Reef Problem* de W.M. Davis, no publicat fins al 1928, recollia velles intuïcions de C. Darwin (1841), preludiant la importància de les plataformes carbonàtiques. A les nostres costes els treballs eren ben escassos.

La consolidació de la recerca (1919-1950)

Aquest segon període comença sota l'ègida de D.W. Johnson. La investigació primerenca, concentrada a les costes temperades de l'hemisferi nord, no havia contemplat gaire les mediterrànies, llevat de l'eustatisme rígid del general Lamothe (1904, 1911) i de C. Depéret (1918, 1922). El material americà (els russos feien la seva via) serví per a la gran sistematització de Johnson (1919), *Shoreline processes and shoreline devolopment,* reeditada el 1939, que no conegué rival fins als 1950'. Les seves idees informaren la majoria d'estudis moderns, fins i tot el text de V.P. Zenkovich (1926); va posar l'èmfasi en els estudis històrics i en el paper de l'ecologia.

El vessant hidràulic ha estat matèria pròpia dels enginyers, especialment americans, enquadrats o no a l'Hidrographic Office (HOUS) al si del qual sorgí l'obra de Sverdrup-Johnson-Fleming (1942), esdevinguda clàssica i inspiradora dels treballs de R. Iribarren (1954). A Europa coronaven la seva obra V. Cornish (1934), A. d'Arrigo (1936) i A. de Rouville (1946).

L'aspecte geomorfològic fou assumit per la UGI a la Comissió de Terrasses, encapçalada per F. Hernández Pacheco (1932), mentre que als Estats Units el Beach Erosion Board començava a actuar el 1920 i, sobretot, durant la segona guerra mundial. L'obra de F. Shepard (1937, 1938, etc.) marca l'època. A la Unió Soviètica des de 1929 comencen a estudiar-se detalladament les costes. La recerca universitària europea més remarcable començarà a Cambridge en un modest laboratori hidràulic dirigit, per F. Debenham, on va treballar W. Williams i, després, J.A. Steers i C.A.M. King. Poc a poc, la geomorfologia britànica esdevendria capdavantera. A França, oceanografia a banda, L. Aufrère (1931) incidí sobre les dunes litorals, mentre que L. Glangeaud (1935, 1950) feia nombroses contribucions a la sedimentologia. H. Baulig (1935) engegava una línia sobre les terrasses i els canvis de nivell a la que se sumà G. Denizot (1951). Dels alemanys cal senyalar el pioner H. Lautensach (1928), assidu de les nostres costes, però el millor treball sistemàtic fou el de H. Valentin (1952), referit a tipus i orígens de les costes.

Una ciència independent i una recerca pluridisciplinària (1950-1980)

Els processos litorals són tan complexos que a l'investigador li cal molt de coratge per moure's en terrenys tan diversos com la història o l'arqueologia, l'ecologia, la climatologia o la mecànica de fluids. L'organització de tantes variables va exigir una disciplina més lliure de tuteles i interessos. A partir de la segona guerra mundial, el quadre científic ha canviat del tot gràcies a estudis detallats d'espais tan distints com Califòrnia, golf de Mèxic, Surinam, Àfrica occidental, Mediterrani, Austràlia, Nova Zelanda i Polinèsia. El 1958, J.T. McGill publica un mapa mundial dels grans tipus litorals, però el llibre que obri i consagra l'etapa és la *Morphologie littorale et sous-marine* d'André Guilcher (1954) que seria traduït a moltes llengües. Noti's que encara diu *morfologia* i allò de submarina, ara ens sembla un caricatura; en canvi, el cos del llibre, mig segle després, manté la seva vigència analítica i sintètica. D'altres llibres com el d'E.C.F. Bird (1968) i el de V.P. Zenkovich (1962) (que acaba presidint l'època) han estat també escrits per autors que coneixien ambients molt diversos, ordenats sovint zonalment. El progrés de la geomorfologia ha estat arreu en mans de geòlegs i geògrafs que han provocat la col·laboració d'altres estudiosos.

L'orientació hidràulica va ser mantinguda per C.A.M. King, l'obra fonamental de la qual, *Beaches and coasts* (1959, 1972) aprofitava materials del National Institut of Oceanography. El departament de Geografia de Nottingham esdevengué un centre pioner a l'estudi de formes, factors i processos, quantificació inclosa. Al continent P. Bruun (1956) formulava (entre altres publicacions teòriques i aplicades) la seva cèlebre llei. J. Larras des del laboratori de Chatou elaborà precisos manuals (1957, 1961, 1964) de sentit clarament aplicat. La parella Cailleux-Tricart, grans sistematitzadors de tota la geomorfologia, exerciren un fort influx a la sedimentologia (1959). F. Ottman (1958, 1967) seguia la línia de Guilcher. L'heretatge d'Iribarren era recollit pel també enginyer P. Suárez Bores, autor d'una classificació costenca genètica.

El capítol estrictament geomorfològic va experimentar un increment espectacular del que només podem espigolar alguns temes, com els canvis litorals (amb el llibre clàssic de W. Williams (1960), un "subproducte" bèl·lic) o els treballs d'E.G. Thom (1973) i E. Lisitzin (1974). La sedimentació litoral fou treballada als Països Baixos per L. van Straaten (1954) i a França per Rivière, Berthois i F. Verger. Els petrolers forniren la base, sobretot als Estats Units, de tècniques d'estudi de la falca litoral: aquí la paleontologia de foraminífers té molt a dir. Les contribucions de Shepard i de R. Fairbridge (des de 1950) sòn bàsiques.

A les nostres costes cal recordar l'aportació d'Y. Barbaza (1971) a la Costa Brava i la tesi del geòleg A. Maldonado (1976) sobre el delta de l'Ebre; per altra banda, el geògraf K.W. Butzer, alemany establert als Estats Units, emprenia la geomorfologia quaternària del litoral mallorquí, de la mà de J. Cuerda, els anys 1960'. Molts dels treballs esmentats combinen tècniques sedimentològiques cada cop més fines, microestratigrafia i datacions absolutes per radioisòtops que acabaran per ser imprescindibles.

Finalment, no pot menystenir-se el paper estelar de la URSS on, des de 1945, eren estudiats sistemàticament els litorals per l'Institut Oceanogràfic de l'Acadèmia de Ciències, que en realitat només feia geomorfologia, sota la direcció de V.P Zenkovich i un equip de vint especialistes de primera línia. El llibre *Processos de desenvolupament litoral*, traduït a l'anglès del 1967, ve a ser el més important després del de Johnson (1919). Els "catorze

mars" de Rússia permeteren incorporar molt de material nou i reinterpretar moltes teories proposades per autors "occidentals". Noti's, de tota manera, que la paraula *procés* segueix essent mot d'ordre.

Les modernes tendències a partir dels 1980'

Ha esdevingut temerari a les dates que ens trobem, per excés d'informació, voler embastar un *state of art* que no sigui una lletania o una enciclopèdia. Un bon manual recent (Woodroffe, C.D., *Coasts, form, process and evolution*. Cambridge, 2002) duu una bibliografia de 2.124 títols... Tanmateix, deixarem pas a la gosadia, evocant uns quants temes "de moda" i recordant les principals aportacions als nostres litorals, els darrers vint-i-cinc anys. Tal vegada el "manual" més significatiu del període sigui el de R.W. Carter (1988), *Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines* que, si ara podem considerar massa tècnic i desfasat en qualque punt, té el mèrit d'haver recuperat la visió europea interdisciplinària on la biota i l'antropització no són els darrers factors; els índexs bibliomètrics segur que el posen ben amunt. Si hom vol seguir el trepidant moviment investigador, cal que acudeixi a les revistes bàsiques, *Journal of Coastal Research, Estuarine, Coastal and Shelf Science* i *Marine Geology*.

El 29th Binghampton Symposium, al que la revista *Geomorpholgy* (1998) va dedicar un número especial, el 48, constatava el gran impuls rebut per la geomorfologia litoral des de 1990: la teoria anava essent confirmada i estimulada per la logística i instrumentació de camp, mentre que la maduresa transcendia als models on la computació té molt que veure, com també la globalització científica. L'evolució de la línia litoral, de la interfàcies terra-mar, amb tot el que implica d'intercanvi de sediments, pot seguir-se ara amb el LiDAR i altres procediments de teledetecció acurada. Processos i formes en surten beneficiats.

Hi ha processos lligats a la marea –no és precisament el cas dels litorals mediterranis) que justifica tipologies que han establert G. Masselink-A.D. Short (1990) i K.R. Dyer (1997). Altrament l'onatge és el factor predominant a la majoria de litorals amb processos derivats també dels corrents de divers origen. És aquí on la modelització va ser més primerenca, ja en l'etapa anterior.

Ben probablement els canvis del nivell marí, la seva cronologia i les repercussions constitueixen el tema *vedette* de la recerca litoral i un dels que ha tingut més repercussió mediàtica. L'opinió ciutadana el relaciona exclusivament amb l'efecte hivernacle quan, realment, és un fenomen tan antic com la humanitat. El segle XIX, ja s'originà la controvèrsia entre catastrofistes i uniformitaristes a propòsit de les columnes del temple de Serapis de Pozzuoli i els nivells alternants de la mar, ara precisats amb radiocarboni i els senyals dels litòfags. Arran de la difusió dels mètodes de datació radioisotòpica –sempre revisats i cada cop més refinats– i sobre la base no gaire discutida dels treballs de Shackleton-Opdike (1973, 1976), revisats (Shackleton-Hall, 1990), la perspectiva dels litorals afectats per l'eustatisme s'ha eixamplat. O. van de Plassche (1986) ho veia des d'uns Països *Baixos* molt sensibilitzats, com S. Jelgersma i M.J. Toolet (1992). Més globalment enfocava la qüestió E.G.F. Bird (1993), ja assumint la preocupació pel canvi climàtic, mentre que el "mediterrani" R. Paskoff (2001) en donava una consideració més localitzada. P.A. Pirazzoli (1991 i

1996), que va assumir la utòpica tasca de coordinar els nivells marins quaternaris (el projecte IGCP 200), acaba fent un tractament (2004 i 2005) de "costes en submersió". Els *sea-level highstands* són particularment significatius ja que, gràcies a la trama dels estadis i subestadis isotòpics de l'oxigen, hom ha pogut afinar molt, almenys a escala regional. El projecte IGCP 437 (*Coastal Environmental Change During Sea-Level Highstands*) hi incideix: els nivells interglacials –normalment, els emergits– es compliquen amb la neotectònica, cada cop més assumida.

Les manifestacions neotectòniques més espectaculars, nogensmenys, corresponen als terratrèmols (bradisísmica, Pirazzoli, 1999) i als tsunamis que estan a l'ordre del dia i no hi ha cap aprenent de geomorfòleg que no hagi colombrat alguns megaclasts. Una visió general, estalonada per molts estudis particulars es pot trobar al *Marine Geology*, 203 (2004) i a nombroses contribucions de D. Kelletat, antic membre de la Coastal Commission de l'UGI, que el 1996 va confegir una exhaustiva bibliografia de tota la geomorfologia litoral. Cal comptar també amb l'obra de S. Tinti (1992).

Les velles dicotomies estuari/delta o estuari/albufera (*laggon*) s'han esvaït. Ara tractem en comú aquests espais d'aigua fluvial i/o marina més o menys confinats. La classificació de Cooper (2001) sobre 280 exemples sud-africans és ben eloqüent. Estuaris, albuferes i deltes (Maldonado, 1975) poden ser considerats amb perspectiva fisiogràfica o hidrològica, de més a més de la geomorfològica i evolutiva. R.W. Dalrymple (1982) contraposava els estuaris oberts, dominats per la marea, a les albuferes tancades, condicionades per l'onatge. Els *fan-deltas* o deltes-con introdueixen un element de discordància.

Les costes més estudiades segueixen essent les platges amb les seves implicacions amb les restingues (*barrier islands*) i els sistemes dunars.La morfodinàmica de la faixa avantlitoral [nearshore] implica l'estudi dels corrents de rissaga, les onades *shear* i moltes subtitlitats del transport sedimentari, de les barres submergides, de les formes en banya (*cuspate*, Ortega, 2004) i, especialment, dels perfils batimètrics popularitzats per la recerca britànica. Les dunes litorals tenen lleis pròpies, cada cop més conegudes, sobre l'assortiment, els canvis, la relació amb la vegetació i l'antropització. Se'n pot fer una morfometria minuciosa: els *blowouts* (calderes) i les parabòliques s'estan imposant. Els treballs de K.F. Nordstrom (2000) inclouen aspectes d'antropització i conservació, com ja començaven a fer amb N. Psuty (1990, 1994) J. Hardisty (1990, 1994). Cal esmentar les aportacions de D.J. Sherman (1989, 1990, 1998), K. Pye i H. Tosar (1990) i P.A. Hesp (2000, 2002). El georadar ha ajudat a l'estudi morfogenètic de l'estratificació eòlica.

Les costes rocoses havien estat la ventafocs dels estudiosos litorals fins fa ben poc. Amb prou feines se'n feia una classificació tòpica de penya-segats *plunging* i penya-segats amb plataforma, models molt simplistes. Dos manuals indiscutits, el d'A.S. Trenhaile (1987) i T. Sunamura (1992) han redreçat el panorama: ara se n'estudia la meteorització, la quimioclàstia, la termoclàstia, la bioerosió. Els penya-segats com a geoforma en diversos rocams responen a processos diferents. Les costes calcàries, que ja havia escorcollat Guilcher (1953: *corniche* i *trottoir*, p.e.) tornen a la palestra, p.e., les calcoarenites com a font de material de platja. El martell Schmidt acompanya sovint els investigadors litorals...

Un tema, per acabar, que no ha perdut vigència és el dels esculls coral·lins. Hi ha contribuït un poc la proximitat relativa de la Polinèsia i Austràlia que ha esdevingut capdavantera (Woodrofe, 1993, 1994) en la recerca litoral. No podem oblidar, però, que Guilcher,

encara, el 1988 aportà una sòlida obra de maduresa, al costat de les de D.R.S. Stoddart (1985) i P.D. Nun (1994). Els esculls coral·lins abasten deu milions de quilòmetres quadrats dels oceans tropicals; la miraculosa productivitat calcària ja va ser remarcada des de Darwin. Les plataformes carbonàtiques, però, no cal anar-les a cercar a Belize, les tenim (heretades) ben a prop i s'han introduït al raonament geomòrfic, justificant el paper *calcoclàstic* enfront del *siliciclàstic* predominant.

Pel que fa als nostres territoris (est de la Península i illes Balears), maldarem per repassar succintament les línies de treball més remarcables. Continuant recerques de L. Solé i O. Riba dels anys 1960', M. Canals (1985) i col·laboradors han posat particular atenció a l'avantlitoral i els canyons submarins i la seva relació amb la sedimentació terrígena. M.A. Marquès i R. Julià (1986, 1987, 1994) s'han fixat en l'evolució litoral de segments concrets, atenent a la cartografia històrica (delta del Llobregat, costa empordanesa) i als processos geomòrfics i als índexs sedimentològics.

L'escola valenciana –de la qual, per raons òbvies, no esmentaré persones– ha treballat especialment al seu territori en aspectes com les albuferes, els cons-deltes, les planes fluvials, els nivells quaternaris i, últimament, les dunes i les costes rocoses. Faig excepció d'un nom: la difunta M.P. Fumanal que encapçalà entre 1980 i 1995 nombrosos treballs centrats en la sedimentologia, amb sondatges i sísmica marina. A la producció valenciana no hi ha mancat la col·laboració d'arqueòlegs, geòlegs, palinòlegs i enginyers. El litoral meridional, que havia estudiat B. Dumas (1977, 1980, 1981), meresqué també l'atenció del grup de Madrid (J.L. Goy i C. Zazo, 1990, 1993 i 1999). A la datació radioisotòpica itervingueren d'antuvi M. Brückner i U. Radtke (1985).

En la caracterització paleontològica dels nivells litorals quaternaris treballà de valent J. Cuerda amb materials valencians procedents de les exploracions de C. Gaibar (1972), primer, i després colze a colze amb un equip de la Universitat de València amb el qual visitaren Formentera (1985). J. Cuerda havia col·laborat d'antuvi, després d'una llunyana iniciació amb A. Muntaner, amb el geògraf K.W. Butzer, tot aclarint els nivells glacioeustàtics del tirrenià i flandrià i la tipologia de les costes baixes de Mallorca i Eivissa. Amb la jove Universitat de les Illes Balears, ha assumit el protagonisme en la recerca el Departament de Ciències de la Terra i alguns investigadors estrangers que han incidit en temes de morfogènesi litoral (cons al·luvials, eolianites, p.e.). Les línies dels equips encapçalats per L. Pomar, A. Rodríguez i J.J. Fornós abasten els espeleotemes aquàtics, les dunes litorals –actuals i "fòssils"– les costes rocoses, la morfogènesi calcària inclosa la bioerosió, les cales, etc. Una de les aportacions més espectaculars ha estat l'exploració de cavitats sotaiguades i la seva interpretació cronoeustàtica. El grup de Madrid (2000, 2003) ha fet alguna intervenció centrada als estadis isotòpics 3 i 5e i també cal recordar el detalladíssim treball de H. Rohdenburg i U. Sabelberg (1973, 1979, 1983) sobre cicles climàtics, basat en els sòls dels penya-segats mallorquins. D. Kelletat, de més a més de contribucions a la morfogènesi calcària, últimament ha localitzat testimonis de tsunamis a l'illa (2002, 2005) dins el projecte GITEC.

A century and a half of littoral geomorphology

Vicenç Mª. Rosselló i Verger
Universitat de València

There is an enormous scientific and methodological gap between the seas we so feared in the past to the friendly and coveted ones which since the end of the 20th century have captured our attention, both scientifically (in the form of a vast number of projects, journal publications, congresses and commissions) as well as in the literature and the media.

The dawn of future science

The first map on isobaths dates back to 1729 (Cruquius), and our coasts were the subject of the first serious hydrographic cartography in 1787 when V. Tofiño published his charts and the *Derrotero*, which were greatly improved by the campaigns which took place at the end of the 19th century (R. Pardo and J. Gómez Ímaz): these set the foundations for future studies which could not even seen. The focus on hydraulics (which were imagined centuries earlier by the works of da Vinci) in the first half of the 19th century applied fluid mechanics to wave action, as initiated by Airy and Stokes, and later by Cornaglia (1881) and Cornish (1898, 1912), who set the theoretical groundwork for the main factor affecting coastal processes. The great driving force for all these changes was the transference of energy from the atmosphere to the hydrosphere, which also affect the lithosphere and, diagonally, the biosphere. The interactions between these four spheres justifies the fascinating geographical interest for the coastland.

The geological (later referred to as geomorphological) outcome of Newton's scientific revolution (1687), and the liberation of earth sciences from biblical schemes, allowed pioneers such as Hutton and Playfair to elaborate an independent doctrine. Their noted followers Lyell (1830) and Élie de Beaumont (1845) (the latter having visited our country) placed importance on littoral modelling and evolution. Since then, many geologists, the "neptunists", observed the marine plains of denudation (or sedimentation) and concentrated on transgressive and regressive coastal deposits. The attempt to apply the "erosion cycle" to the littoral, in spite of its possible distortions, developed into specific studies on processes. G.K. Gilbert (1885), who investigated the "fossil" margins of Bonneville lake, and F.P. Gulliver were the precursors of this discipline. The first classification of coasts is owed to F. Richthofen (1886), the discoverer of the *rias*. Most of the classic papers on coastal morphology and regional descriptions appear in this second half of the 1800's, as well as the main compilations by A. Penck (1896) (who used the term *cala* coined by the Archduke Ludwig Salvator), and L. Passarge (1912), all the way to D.W. Johnson. *The Coral Reef Problem* of W.M. Davis, unpublished up to 1928, reflected on earlier intuitions by Ch. Darwin (1841), which were a prelude to accepting the importance of carbonated platforms. There was however little done on our coasts.

The consolidation of research (1919-1950)

This second period was initiated by D.W. Johnson. Early research concentrated on the temperate coasts of the northern hemisphere, ignoring the Mediterranean ones, excepting the rigid eustatism imposed by General Lamothe (1904, 1911) and C. Depéret (1918, 1922). The American publications (Russians were going their own way) were the basis for the great systematization by Johnson (1919): *Shoreline processes and shoreline development*, re-edited in 1939, and unrivalled up to 1950. Their ideas were assimilated by most modern studies, including the textbook by V.P. Zenkovich (1926). It laid emphasis on historical studies and on the role of ecology.

Hydraulic aspects were taken up by engineers, principally American, belonging or not to the Hidrographic Office (HOUS), from where there appeared the work of Sverdrup-Johnson-Fleming (1942), which became a classic and inspired those of R. Iribarren (1954) in Spain and of V. Cornish (1934), A. d'Arrigo (1936) and A. de Rouville (1946) in the rest of Europe.

Geomorphologic aspects were taken up by the UGI at the Commission of Terraces, lead by F. Hernández Pacheco (1932), while in the USA the Beach Erosion Board started to operate in 1929 and mainly during the II World War. The work of F. Shepard (1937, 1938, etc.) is its milestone. The coasts of the USSR started to be studied in detail in 1929. European university research were being initiated in Cambridge in a modest hydraulic laboratory lead by F. Debenham, where W. Williams, and later J.A. Steers and C.A.M. King later worked too. Little by little British geomorphology placed itself at the forefront. In France, oceanography excluded, L. Aufrère (1931) concentrated on coastal dunes, while L. Glangeaud (1935, 1950) made numerous contributions to sedimentology. H. Baulig (1935) started a research line on terraces and level changes, later followed by that of G. Denizot (1951). We may highlight H. Lautensach (1928) among the Germans, a frequent visitor of our shores, but the best systematic work was by H. Valentin (1952), which referred to the types and origins of coastlands.

An independent science and multidisciplinary research (1950-1980)

Littoral processes are so complex that the researcher needs great courage to delve in such diverse fields as history, archaeology, ecology, climatology or fluid mechanics. The organization of so many variables demanded a discipline which would rid itself from any guidance and other vested interests. Since the II World War the scientific scenery completely changed due to the detailed studies of localities as diverse as California, the Gulf of Mexico, Surinam, West Africa, the Mediterranean, Australia, New Zealand and Polynesia. In 1958, J.T. McGill published a world map of the major littoral types, but the outstanding publication is *Morphologie littorale et sous-marine* by André Guilcher (1954), which was translated to many languages. Take note that it still mentioned *morphology*, though the term submarine now seems a caricature. Nevertheless, half a century later the book is still admired on its power of analysis and synthesis. Other books, such as those of E.C.F. Bird (1968) and V.P. Zenkovich (1962) (the latter becoming a landmark for that period), have been written by authors who are knowledgeable on several environments, which they often

organized by zones. The progress of geomorphology has been in the hands of geologists and geographers, who have stimulated contributions by other scientists.

Interest in hydraulics was maintained by C.A.M. King, whose important book *Beaches and coasts* (1959,1972) made use of material from the National Institute of Oceanography. The Geography Department of the University of Nottingham became a pioneer in the study of forms, factors and processes, including quantification. On the continent, P. Bruun (1956) formulated (among other theoretical and applied publications) his famous rule. J. Larras, from his laboratory at Chatou, published precise and highly practical manuals (1957, 1961, 1964). The couple Cailleux-Tricart, great systematizers of the entire field of geomorphology, exercised considerable influence on sedimentology (1959). F. Ottman (1958, 1967) followed Guilcher. The Spanish engineer P. Suárez Bores, author of a genetical coastal classification, inherited the ideas of Iribarren.

Strictly geomorphologic aspects experimented a spectacular boom, of which we can only glean some subjects, such as littoral changes (dealt with in the classical work of W. Williams (1960), which was a by-product of the war, and the works of E.G. Thom (1973) and E. Lisitzin (1974). Littoral sedimentation was approached in the Netherlands by L. van Straaten (1954) and in France by Rivière, Berthois and F. Verger. Oil research, especially in the USA, developed the techniques for studying the coastal border, where palaeontology of Foraminifera plays an important role. The contributions by Shepard and R. Fairbridge (from 1950) are fundamental.

With regard to our coastlands, we may highlight the contribution by Y. Barbaza (1971) on the Costa Brava, as well as the thesis by geologist A. Maldonado (1976) on the Ebro delta. On the other hand, the geographer K.W. Butzer, a German naturalized in the USA, initiated the study of quaternary geomorphology of the Majorcan coast, aided by J. Cuerda during the 1960's. Many of the cited works combine increasingly refined sedimentological techniques, microstratigraphy and absolute radioisotope dating, which became irreplaceable.

Finally, we cannot ignore the significant contributions by the USSR, where, since 1945, the littoral was being systematically studied by the Oceanographic Institute of Academy of Sciences. Only geomorphology was of their interest, and this was done under the auspices of V.P. Zenkovick and a team of twenty first-rate specialists. Their book, *Processes of Coastal Development*, translated into English in 1967, was the most important one after that of Johnson (1919). The "fourteen seas" of Russia enabled the incorporation of much new material and the reinterpretation of many theories proposed by "Western" authors. Notice however that the term *process* is still word of order.

Modern tendencies since 1980

It would be pretentious in these days, due to the excess of information, to want to give the state of the art in this discipline, at the risk of producing a litany or encyclopaedia. A good recent manual (Woodroffe, C.D., Coasts, Form, Process and Evolution. Cambridge, 2002) includes a bibliography of 2124 entries. Nevertheless, we will give way to the audacity and evoke some current themes and recall the main contributions to the study of our coasts in the last 25 years. Possibly the most significant manual of the period is that of R.W.

Carter (1988) *Coastal environments: An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines,* which, even if nowadays considered too technical as well as outdated in some aspects, has the merit of having restored the European interdisciplinary approach, where biota and anthropization are not the least of factors considered. Bibliometric indexes will for sure place this publication very high up in the scale. If one wants to follow the highly active research activities of present times, one has to resort to basic journals such as *Journal of Coastal Research, Estuarine, Coastal and Shelf Science* and *Marine Geology.*

The 29th Binghampton Symposium, for which the journal *Geomorphology* (1998) dedicated a special issue, vol. 48, testified to the great advances given by littoral geomorphology since 1990: theory was being confirmed and stimulated by logistics and field instrumentation, and maturity transcended to models where computation as well as scientific globalization played a leading role. The evolution of the littoral margin and of the land-sea interfacies, with all what it implies in sediment interchange, can nowadays be monitored with the LiDAR and other procedures providing accurate teledetection. Processes and forms are thus benefited.

There are processes linked up with tides – not precisely the case in the Mediterranean – which justify the typologies established by G. Masselink-A.D. Short (1990) and K.R. Dyer (1997). On the other hand, wave and currents are the dominant factors in most coastlines. It is here where modelling experienced significant advances, already in the previous period.

It is very probable that the changes in sea level and its chronology stand out in present day littoral research, and have repercussions in the media. Public opinion is exclusively influenced by the greenhouse effect, though this phenomenon is as ancient as humanity. Already in the 19th century there arose a controversy between catastrophists and uniformitarianists with regard to the columns of the temple at Serapis de Pozzuoli and the alternating changes in sea level, which are now being monitored with radiocarbon and through markings left by boring mussels. The perspective on littorals affected by eustatism has been broadened as a result of the spread of radioisotope dating –constantly being revised and increasingly refined – as well as on the insufficiently discussed basis of the works by Shackleton-Opdike (1973, 1976), late revised (Shackleton-Hall, 1990), (the prospect of the coasts affected by the eustatism has been broadened. O. van de Plassche (1986), as well as S. Jelgersma and M.J. Toolet (1992) observed all this from the highly conscious Netherlands. E.G.F. Bird (1993) focussed on the problem from a more global viewpoint, expressing the worries on climatic changes, while the Mediterranean R. Paskoff (2001) considered them more locally. P.A. Pirazzoli (1991 and 1996), who took on the utopic task of coordinating quaternary sea levels (project IGCP 200), ended up referring (2004 and 2005) to "coastlines undergoing submergence". The sealevel highstands are particularly significant, as, thanks to the network of isotopic stages and substages of oxygen, we have been able to precise them to a high degree, at least at a regional scale. Project IGCP 437 (*Coastal Environmental Change During Sea-Level Highstands*) concludes: interglacial levels – normally emerged- are complicated by neotectonics, which is increasingly accepted.

The most spectacular neotectonic manifestations, nevertheless, are the earthquakes (bradyseismics, Pirazzoli, 1999) and tsunamis, both of current interest, and not a single beginner in geomorphology has not seen some megaclasts. A general view, supported by

many more specific studies, can be found in *Marine Geology*, 203 (2004) and in the numerous contributions by D. Kelletat, a senior member of the Coastal Commission of the UGI, who in 1996 compiled an exhaustive bibliography on all littoral geomorphology. The work S. Tinti (1992) must also be taken into account.

The old dichotomies estuary/delta or estuary/lagoon have faded away. We now treat these more or less confined spaces of river and or marine water jointly. This is manifest in Cooper's (2001) classification of 280 examples from South Africa. Estuaries, lagoons and deltas (Maldonado, 1975) may be considered in a physiographic or hydrological perspective, in addition to the geomorphologic and evolutionary ones. R.W. Dalrymple (1982) contrasted open estuaries, dominated by tides, with closed lagoons, conditioned by wave action. Fan-deltas or cone-deltas introduce an element of discordance.

The most studied coastlands still are the beaches, as they affect barrier islands and dune systems. The morphodynamics of the nearshore strip implies the study of rip currents, shear waves and many) subtleties of sedimentary transport, of submerged sandbars, of cuspate forms (Ortega, 2004) and especially of bathymetric profiles popularized by British research. Littoral dunes have their own laws, which are increasingly understood, on the assortment, changes, relationships with vegetation and anthropization. One can carry out a detailed morphometry: blowouts and parabolics are becoming dominant. The work of K.F. Nordstrom (2000) includes aspects on anthropization and conservation, which were already being done by N. Psuty (1990, 1994) and J. Hardisty (1990, 1994). It is worth mentioning the contributions by D.J. Sherman (1989, 1990, 1998), K. Pye and H. Tosar (1990) and P.A. Hesp (2000, 2002). Georadar has aided in the morphogenetic study of aeolian stratification.

Rocky coasts had been the cinderella of researchers until quite recently. With difficulty, a topical classification was being made of cliffs either plunging or with platforms, which were very simplistic models. Two undisputed manuals by A.S. Trenhaile (1987) and T. Sunamura (1992) have altered the panorama: we now study weathering, chimioclastics, thermoclastics and bioerosion. Cliffs as a geoform in various lithologies respond to different processes. Calcareous coasts, which had already been studied by Guilcher (1952: *corniche* and *trottoir*, p.e.) return to the discussion, e.g. calcarenites as ground material for beaches. The Schmidt hammer often accompanies researchers on littorals...

To conclude, a subject who has not lost validity is that of coral reefs. The relative proximity of Polynesia and Australia has contributed to it being now at the forefront (Woodrofe, 1993, 1994) in littoral research. But we should not forget that Guilcher, as far back as 1988, contributed with a very solid piece of work, along with that of D.R.S. Stoddart (1985) and of P.D. Nun (1994). Coral reefs cover 10 million square kilometres of tropical oceans: this miraculous calcareous productivity was already remarked by Darwin. However, we need not go to Belize to discover carbonated platforms, we have them (inherited) very close to us, and they have participated in geomorphic reasoning, justifying the calcoclastic role vis a vis the dominant siliciclastic one.

With regard to our territories (east coast of the Iberian Peninsula and Balearic Islands), striving to briefly review the most outstanding research lines. Following that by L. Solé and O. Riba in the 60's, M. Canals (1985) and collaborators, have been particularly interested in the offshore and submarine canyons as affected by terrigenous sedimentation. M.A. Marquès and R. Julià (1986, 1987, 1994) have observed the littoral evolution of par-

ticular segments with the aid of historical cartography (Llobregat delta, and the coast of the Empordà) as well as geomorphic processes and sedimentological indexes.

The Valencian school – of which I shall for obvious reasons not mention names – has particularly worked in its area on aspects such as lagoons, fan-deltas, fluvial plains, quaternary levels and more recently on dunes and rocky coasts. I will make an exception with one name: that of the deceased M.P. Fumanal, who between 1980 and 1995 lead numerous projects on sedimentology including test drilling and marine seismics. Valencian productivity has been greatly aided by the work of archaelogists, geologists, palinologists and engineers. The southern coast, which had been previously studied by B. Dumas (1977, 1980, 1981), was also the subject of attention by the Madrid team (J.L. Goy i C. Zazo, 1990, 1993 and 1999). M. Brückner and U. Radtke (1985) participated previously in radioisotope dating.

Cuerda worked intensively on the paleontological characterization of quaternary littoral levels, using Valencian material derived first of all from the explorations by C. Gaibar (1972) and later on with a team from the University of Valencia, with whom the island of Formentera was visited (1985). After a rather early initiation with A. Muntaner, J. Cuerda had collaborated previously with the geographer K.W. Butzer, providing an explanation to the glacioeustatic levels of the Tyrhenian and Flandrian, as well as studying the typology of the low coastlands of Mallorca and Eivissa. Within the recent University of the Balearic Islands, the Department of Earth Sciences has taken the lead, along with some foreign researchers, which have taken an interest in littoral morphogenesis (e.g. alluvial fans and eolianites). The teams lead by L. Pomar, A. Rodríguez-Perea and J.J. Fornós cover research on aquatic speleothems, littoral dunes – both present day and "fossil" – rocky coasts, calcareous morphogenesis including bioerosion, *calas*, etc. One of the most spectacular contributions has been the exploration of submerged cavities and their chronoeustatic interpretation. The Madrid team (2000, 2003) has participated in research on isotopic stages 3 and 5e, and we must also refer to the highly detailed work of H. Rohdenburg and U. Sabelberg (1973, 1979, 1983) on climatic cycles, based on the soils of Mallorcan cliffs. Lastly, D. Kelletat, within the project GITEC, in addition to contributions on calcareous morphogenesis, has provided evidence of tsunamis on the island.